

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS**



**CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DE LA PULPA DE LA
CEREZA DE CAFÉ MEDIANTE ACTIVACIÓN QUÍMICA**

**TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

AUTOR : Bach. Mileidy Guevara Benavides

ASESORES : M. Cs. Adán Díaz Ruiz

: Dr. Honorato Ccalli Pacco

JAÉN – PERÚ, NOVIEMBRE, 2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS**



**CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DE LA PULPA DE LA
CEREZA DE CAFÉ MEDIANTE ACTIVACIÓN QUÍMICA**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

AUTOR : Bach. Mileidy Guevara Benavides

ASESORES : M. Cs. Adán Díaz Ruiz

: Dr. Honorato Ccalli Pacco

JAÉN – PERÚ, NOVIEMBRE, 2019



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Ley de Creación N° 29304

Universidad Licenciada con Resolución del Consejo Directivo N° 002-2018-SUNEDU/CD

FORMATO 03: ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día 26 de NOVIEMBRE del año 2019, siendo las 15:00 horas, se reunieron los integrantes del Jurado:

Presidente: DR. JUAN MANUEL GARAY ROMÁN

Secretario: MG. SEGUNDO ALIPIO CRUZ HOYOS

Vocal: MG. SC. JAMES TIRADO LARA, para evaluar la

Sustentación del Informe Final:

() Trabajo de Investigación

(☒) Tesis

() Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado:

" CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DE LA PULPA DE LA CEREZA
DE CAFÉ MEDIANTE ACTIVACIÓN QUÍMICA "

presentado por estudiante/egresado o Bachiller MILEIDY GUEVARA BENAVIDES

de la Carrera Profesional de INGENIERÍA DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:

(☒) Aprobar () Desaprobar (☒) Unanimidad () Mayoría

Con la siguiente mención:

- | | | |
|----------------|------------|---------------|
| a) Excelente | 18, 19, 20 | () |
| b) Muy bueno | 16, 17 | (<u>17</u>) |
| c) Bueno | 14, 15 | () |
| d) Regular | 13 | () |
| e) Desaprobado | 12 ó menos | () |

Siendo las 16:00 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.


Presidente


Secretario


Vocal

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	2
ÍNDICE DE TABLAS	3
ÍNDICE DE FIGURAS	4
ÍNDICE DE GRÁFICOS	5
ÍNDICE DE ANEXOS	5
RESUMEN	6
ABSTRACT	7
I. INTRODUCCIÓN	8
II. OBJETIVOS	12
2.1. Objetivo General	12
2.2. Objetivos Específicos	12
III. MATERIALES Y MÉTODOS	13
3.1. Lugar de ejecución	13
3.2. Materiales.....	13
3.2.1. Materia prima.....	13
3.2.2. Insumos.....	13
3.2.3. Materiales de laboratorio.....	13
3.2.4. Equipos.....	14
3.2.5. Reactivos.....	14
3.2.6. Procedimiento para la elaboración del carbón activado.....	15
3.2.7. Diagrama de flujo para la obtención del carbón activado.....	17
3.3. Procedimiento para la determinación de los parámetros fisicoquímicos.	18
3.4. Diseño experimental.....	21
3.4.1. Análisis de datos.....	21
IV. RESULTADOS	22
4.1. Caracterización físicoquímica del carbón activado obtenido.....	22
V. DISCUSIÓN	33
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	35
VII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	36

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Numero de ensayos en el diseño experimental.....	21
Tabla 2. Análisis de varianza (ANVA) para la densidad aparente	23
Tabla 3. Método de Tukey al 95 % de confianza para la densidad aparente.....	23
Tabla 4. Análisis de varianza (ANVA) para la variable humedad	24
Tabla 5. Método Tukey para la humedad al 95 % de confianza.....	25
Tabla 6. Análisis de varianza (ANVA) para el pH.....	26
Tabla 7. Método Tukey al 95 % de confianza para el pH	26
Tabla 8. Analisis de varianza (ANVA) para las cenizas	27
Tabla 9. Método de Tukey al 95% de confianza para las cenizas	28
Tabla 10. Análisis de varianza (ANVA) para la materia volátil	29
Tabla 11. Método de Tukey al 95 % de confianza para materia volátil	30
Tabla 12. Análisis de varianza (ANVA) para la capacidad de adsorción	31
Tabla 13. Método Tukey al 95 % de confianza para la capacidad de adsorción.....	32
Tabla 14. Determinación de la humedad de la materia prima	39
Tabla 15. Determinación del porcentaje de cenizas	39
Tabla 16. Determinación de materia volátil del material precursor	40
Tabla 17. Determinación de la densidad aparente del carbón activado producido	41
Tabla 18. Determinación del porcentaje de humedad del carbón activado	41
Tabla 19. Determinación de pH del carbón activado producido	41
Tabla 20. Determinación del porcentaje de cenizas del carbón activado	42
Tabla 21. Determinación del porcentaje de materia volátil del carbón activado.....	42
Tabla 22. Determinación de la capacidad absorbancia del carbón activado	42
Tabla 23. Resumen de promedios de parámetros fisicoquímicos	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de flujo para obtención de carbón activado	17
Figura 2. Pulpa de café	43
Figura 3. Secado	43
Figura 4. Tamizado.....	43
Figura 5. Impregnación con ácido fosfórico.....	43
Figura 6. Reposo.....	43
Figura 7. Agitación manual del material impregnado	43
Figura 8. Secado del material impregnado	43
Figura 9. Carbonización	43
Figura 10. Pesado del carbón obtenido.....	43
Figura 11. Lavado del carbón activado	43
Figura 12. Secado	43
Figura 13. Ajuste de pH	43
Figura 14. Tamizado.....	43
Figura 15. Solución diluida al 1 ppm	43
Figura 16. Adsorción mediante agitación magnética	43
Figura 17. Muestra de azul de metileno por cada tratamiento después de la adsorción	43
Figura 18. Muestra para la curva de calibración	43
Figura 19. Determinación espectrofotométrica de la concentración del colorante residual	43

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Densidad aparente del carbón activado obtenido	22
Gráfico 2. Porcentajes de humedad del carbón activado	24
Gráfico 3. Valores de pH a diferentes temperaturas y tiempos del carbón activado....	25
Gráfico 4. Porcentaje de cenizas del carbón activado	27
Gráfico 5. Porcentaje de materia volátil del carbón activado	29
Gráfico 6. Miligramos de azul de metileno adsorbidos por gramo de carbón activado	31
Gráfico 7. Recta y ecuación de la recta para determinar los mg de colorante residual por g de carbón activado	43

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Características físico químicas de la materia prima	39
Anexo 2. Parámetros fisicoquímicos del carbón activado obtenido	41
Anexo 3. Curva de calibración para la determinación de la concentración residual de azul de metileno.....	43
Anexo 4. Procedimiento de obtención del carbón activado	43
Anexo 5. Procedimiento para determinación de la capacidad de adsorción	43

RESUMEN

El objetivo de la investigación consistió en la obtención de carbón activado a partir de la pulpa de la cereza de café mediante activación química, utilizando ácido fosfórico (H_3PO_4) al 80 % como activante. Y el propósito fue determinar si la temperatura y tiempo de carbonización influyen significativamente en la capacidad de adsorción del carbón activado obtenido. Se realizó la deshidratación de la pulpa de la cereza de café, inicialmente al aire libre, continuando con el secado en una estufa a 105 °C hasta peso constante, luego se realizó una molienda y se tamizó con malla metálica N° 18 (abertura de 1 mm). Posteriormente se impregnó con H_3PO_4 al 80 %, se dejó en reposo durante 24 horas. Se secó en estufa a 105 °C hasta aproximadamente 10 % de humedad. Se llevó a carbonización a 400, 450 y 500 °C y tiempos de 150 min, 180 min y 210 min respectivamente. Las condiciones de temperatura y tiempo de carbonización para el carbón activado de mayor capacidad de adsorción fueron de 400 °C y 180 min y sus parámetros fisicoquímicos: densidad aparente de 0.445 g/cm³, materia volátil 48.05 %, cenizas 22.48 %, carbón fijo 29.47 %, humedad 5.896 % y pH 4.51.

Palabra clave: carbón activado, activación química, valoración de residuos agrícolas.

ABSTRACT

The objective of the research was to obtain activated carbon from the coffee cherry pulp by chemical activation, using 80 % phosphoric acid (H_3PO_4) as an activator. And the purpose was to determine if the temperature and time of carbonization significantly influence the adsorption capacity of the activated carbon obtained. Dehydration of the coffee cherry pulp was carried out, initially in the open air, continuing with drying in an oven at 105°C until constant weight, then grinding and sieving with metal mesh No. 18 (opening of 1 mm) It was subsequently impregnated with 80% H_3PO_4 , allowed to stand for 24 hours. It was dried in an oven at 105°C to approximately 10% humidity. Carbonization was carried out at 400, 450 and 500°C and times of 150 min, 180 min and 210 min respectively. The temperature and carbonization conditions for the activated carbon with the highest adsorption capacity were 400°C and 180 min and its physicochemical parameters: apparent density of 0.445 g / cm^3 , volatile matter 48.05%, ash 22.48%, fixed carbon 29.47 %, humidity 5.896% and pH 4.51.

Keyword: activated carbon, chemical activation, agricultural waste assessment.

I. INTRODUCCIÓN

En la Provincia de Jaén, la actividad agrícola está basada en la producción y comercialización de café, cacao, arroz y en menor escala, los cultivos de maíz amarillo, maíz amiláceo, frijol, arveja, yuca y frutales.

El café es el primer producto agrícola peruano de exportación y el Perú es el séptimo país exportador de café a nivel mundial. No solo lidera las exportaciones agrícolas sino está dentro de los 10 principales productos de exportación, después de algunos minerales, petróleo, gas natural, harina de pescado, entre otros. Según el Ministerio de agricultura y Riego (MINAGRI, sf).

En el 2018, cifras recientes publicadas por la DGESEP del MINAGRI, indican que la producción estimada hasta diciembre del 2018 fue de 364,5 mil toneladas, todo un record histórico que ha superado el 8% de crecimiento respecto al año 2017. El aumento de la producción en el 2018 se debió a la entrada en producción de unas 15 mil hectáreas de cafetos plantadas en el 2015 y en el 2019 se espera entren en producción alrededor de 10 mil hectáreas de nuevos cafetos cuyas plantaciones se efectuaron en el 2016, con lo que en el 2019 la producción de café podría alcanzar las 368 mil toneladas. (MINAGRI, 2019, p.8)

En el Perú se genera más de 450 mil toneladas anuales de pulpa de café como desecho orgánico. De los cuales una pequeña parte de la pulpa que se generan se emplea para la producción de abonos, pero gran cantidad de este residuo quedan acumulados en los centros de beneficio de café o son vertidos a las fuentes de agua. (Rojas, 2016). Estos subproductos traen consigo una problemática ambiental generada por el manejo inadecuado ocasionando serios problemas ambientales e inclusive afectando la salud de la comunidad por la aparición de moscas y otros vectores infecciosos.

Una alternativa de solución a esta problemática medioambiental es darle una valorización a los residuos generados en el beneficio del café y de otros cultivos,

empleándolos como materia prima en la obtención de productos con valor económico. Uno de estos productos a obtener empleando como materia prima la pulpa de la cereza de café es la obtención de carbón activado que tiene múltiples aplicaciones en la industria alimentaria y tratamiento de aguas, entre otros.

El alto costo de los carbones activados de importación utilizados en la industria y su progresiva demanda de estos absorbentes han impulsado a la búsqueda de nuevas fuentes de materias primas tales como cascara de coco, bagazo de caña, bambú, mazorca y tesla del cacao, entre otros, que presenten alto contenido en carbono para su obtención.

La presente investigación se justifica porque trata de valorizar la pulpa de cereza de café empleándolas como materia prima para la obtención de carbón activado, contribuyendo con tecnología apropiada para obtener un producto de calidad que pueda ser usada en la industria de alimentos como absorbente de impurezas, decolorante y en el tratamiento de aguas domiciliarias, industriales y residuales.

La producción de este carbón activado contribuirá a incrementar los ingresos económicos del agricultor y agroindustriales, así mismo permitirá generar fuentes de trabajo con una futura instalación de una planta biotecnológica en la provincia de Jaén y su posterior comercialización, puesto que el valor del carbón activado en el mercado es relativamente alto, dependiendo de su calidad y especificidad.

También se contribuirá con el cuidado del medio ambiente y desarrollo sostenible, puesto que mediante el uso como materia prima, se está reduciendo la contaminación ambiental y haciendo uso racional de los recursos naturales.

En Guayaquil, Hidalgo y Rivera (2017), obtuvieron carbón activado a partir del bagazo del café como una propuesta de utilización del residuo de una industria cafetera, se manejaron las variables para la activación física a 500 °C por 1 hora con vapor de agua, así mismo, por medio de activación química con ácido fosfórico al 20% y 40% (m/m) a 400 °C por 4 horas. Concluyeron que las condiciones óptimas son de 400 °C por 2 horas utilizando ácido fosfórico a una concentración de 40%.

Manrique (2013) de la Universidad Católica De Santa María, se investigó sobre optimización de la producción de carbón activado a partir de cascarilla de arroz y su uso en la adsorción de cromo (VI), empleando un método químico con dos agentes activantes, ácido fosfórico (H_3PO_4) e hidróxido de sodio, el material impregnado se trató a 600 °C y un tiempo de 0,5 horas. Concluyeron que el carbón activado preparado con ácido fosfórico como agente activante presentó una cantidad máxima de adsorción de 78,85 mg/g, de cromo (VI) versus un 52,57 mg/g para el carbón activado preparado con hidróxido de potasio.

Carrasco y Londa (2018) de la Universidad de Cuenca, obtuvieron carbón activado a partir de la cáscara de coco (*Cocos nucífera L*) mediante activación química con ácido fosfórico mediante dos métodos con diferentes concentraciones a 85 % a temperatura de 120 °C por 24 horas y 40 % de ácido fosfórico a 300 °C durante 2,5 horas. Se concluyeron que el carbón activado con 40 % de ácido fosfórico con una temperatura de 300 °C durante 2,5 horas presentó mejores propiedades fisicoquímicas.

Pérez y Callupe (1999) en la Universidad Nacional de Ingeniería hizo un estudio técnico - económico para la instalación de una planta de carbón activado a partir de una mezcla de cáscara de arroz y aserrín de madera, utilizando el método de activación química con cloruro de zinc ($ZnCl_2$), se trató a diferentes temperaturas: 500, 600, 700, 800 y 850 °C, a concentraciones de agente activante: 0,5; 0,8; 1,0; 1,5 con tiempos de 60, 70, 75, 90 minutos.

Lazo (2015) en la Universidad Nacional del Callao investigó sobre operaciones y procesos para la producción de carbón activado a partir de la cáscara de coco, empleó dos metodologías, un tratamiento físico y otro tratamiento químico, la activación física se trató a temperatura de carbonización de 500 °C y temperatura de activación a 800 °C este proceso se llevó a cabo en un horno rotatorio con vapor de agua; para el método químico se utilizó el H_3PO_4 a concentración (85%) se trató a una temperatura de 1000 °C por 1 hora. se concluyó que el método de la activación química a temperatura a 1000 °C ayuda a adsorber los gases (olores) y colores de las aguas a tratar.

Agudelo (2017) de la Fundación Universidad de América, investigó sobre la estandarización de proceso de producción de carbón activado por activación física a partir de hueso de palma a escala industrial, trabajó con el método de activación física, el material se carbonizó a temperaturas inferiores a 700° en ausencia de oxígeno posteriormente se activó gases oxidantes a temperatura de 800-100 °C. Concluyó que para las muestras producidas se obtuvieron altos índices de yodo y azul de metileno, por lo que se concluye que el material generado tiene buenas propiedades absorbentes, apropiadas para la aplicación industrial.

Sánchez (2018) de la Universidad Nacional Agraria La Molina, caracterizó el carbón activado a partir de bambú (*Guadua angustifolia kunth*) utilizando el método químico, realizó el análisis de los carbones activados obtenidos y determinó la influencia de las variables (factores): temperatura (500 y 700°C), tiempo de activación (60 y 90 minutos) y concentración de H₃PO₄ (25 y 50 por ciento). Concluyó que los carbones activados con mayor poder de adsorción y por consiguiente con una mayor área superficial fueron la muestra M 8 (carbón activado en polvo) y la muestra M 16 (carbón activado granular), ambos obtenidos con un 50 por ciento de concentración de agente activante empleando un tiempo de activación de 90 minutos y a una temperatura constante de 700 °C.

Rodríguez (2019) de la Universidad Nacional de Jaén, obtuvo carbón activado a partir de la testa de la almendra de cacao con ácido fosfórico al 60 %, las variables son la temperatura de carbonización (200 °C, 250° y 300 °C) y tiempo de carbonización (90, 120 y 150 minutos). Concluyó que el tratamiento óptimo encontrado para la producción de carbón activado con testa de almendra de cacao corresponde a una temperatura y tiempo de carbonización de 300 °C y 150 minutos respectivamente.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Obtener carbón activado a partir de la pulpa de la cereza de café mediante activación química.

2.2. Objetivos Específicos

- Determinar la temperatura y el tiempo de carbonización para la obtención de carbón activado con pulpa de cereza de café mediante activación química.
- Evaluar la capacidad de adsorción del carbón activado mediante la prueba de adsorción de azul de metileno.
- Determinar las características fisicoquímicas del carbón activado obtenido.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

Se realizó en el laboratorio Taller de Tecnología de Alimentos de la Carrera Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de Jaén.

3.2. Materiales

3.2.1. Materia prima

Se utilizó 15 kg de pulpa de cereza de café de la variedad caturra procedente de la parcela del señor Tomás Guevara Vásquez en el distrito de las Pirias Centro Poblado Rumibamba.

3.2.2. Insumos

Ácido fosfórico (H_3PO_4) a 80 % P/P)

3.2.3. Materiales de laboratorio

- Probeta 50 y 100 mL
- Vaso de precipitados de 50, 100, 250, 500 mL
- Fiolas de 100 y 200 mL
- Pipetas volumétrica de 1 y 25 mL
- Placas Petri
- Varilla de agitación
- Mortero

- Guantes térmicos
- Espátula
- Crisol de porcelana con tapa
- Jarra medidoras de 1000 ml
- Tamiz malla 1 mm
- Desecador de vidrio

3.2.4. Equipos

- Estufa. Enxin Instrument. Modelo ODHG-9053A
- Mufla. JSB. Modelo digital
- PH- metro. Metrohm 913
- Balanza analítica. SHS Inside Super Hybrid Sensor AND. HR-250AZ
- Cocina eléctrica. MS Makrosonic
- Espectrofotómetro. ÚNICO Spectrophotometer. 1205 Vis
- Agitador Magnético. Velp Scientifica
- Centrífuga. Spectrafuge 6 C
- Molino "corona"

3.2.5. Reactivos

- Hidróxido de sodio (NaOH), 0.1 N
- Azul de metileno (s)
- Agua destilada

3.2.6. Procedimiento para la elaboración del carbón activado

a. Recepción de la materia prima

Se recolectó la materia prima en la finca Piedra Blanca, ubicada en el distrito de Las Pirias, centro poblado Rumibamba, consistente en 15 kg de pulpa de cereza de café de la variedad caturra, proveniente del proceso de despulpado, en el beneficio húmedo del café.

b. Deshidratación

Se realizó en dos etapas: primero se dejó secar a temperatura ambiente al aire libre por un periodo de 72 horas, con la finalidad de escurrir las aguas mieles; en segundo lugar se continuó el secado en una estufa a 105 °C por 3 horas.

c. Molienda

La pulpa seca se pulverizó con un molino “Corona”, con la finalidad de disminuir el tamaño de las partículas.

d. Tamizado

La pulpa molida seca se tamizó en un tamiz de malla N° 18 con abertura de 1,0 mm para separar las partículas de diferente granulometría.

e. Impregnación con ácido fosfórico a 80 % de concentración p/p

En cinco vasos de precipitación de 1000 mL de capacidad, se pesaron en cada uno 320 g de pulpa molida seca, se agregaron 540 mL de ácido fosfórico (H_3PO_4) al 80 % (P/P), se homogenizó la pulpa molida con el agente activante con ayuda de una varilla de agitación.

f. Reposo

El precursor impregnado se dejó en reposo por un tiempo de 24 horas, con un agitado manual cada 1 a 2 horas a temperatura ambiente.

g. Primer secado

El material impregnado se llevó en placas Petri a secar en una estufa a 105 °C hasta aproximadamente 10 % de humedad.

h. Carbonización – Activación

Se pesó 25 g de muestras de material seco impregnado en crisoles de porcelana y se colocó en una mufla a 400 °C, 450 °C y 500 °C, utilizando tiempos de 150 min, 180 min y 210 min por cada temperatura, con tres repeticiones.

i. Enfriado

El material carbonizado se dejó enfriar en un desecador de vidrio por un tiempo de 30 minutos aproximadamente.

j. Lavado

Se realizó el lavado del carbón activado obtenido con agua destilada caliente (70 – 80 °C), luego se adicionó la solución alcalina de NaOH 0,1 N hasta ajustar su pH entre 4-6.

k. Segundo secado

Las muestras se llevaron a secar en una estufa a 105 °C por un tiempo de 4 horas hasta obtener una humedad relativa entre 5-10 %.

l. Acondicionamiento

El carbón activado se acondicionó en bolsas plásticas herméticas, para evitar la captación de humedad.

3.2.7. Diagrama de flujo para la obtención del carbón activado.

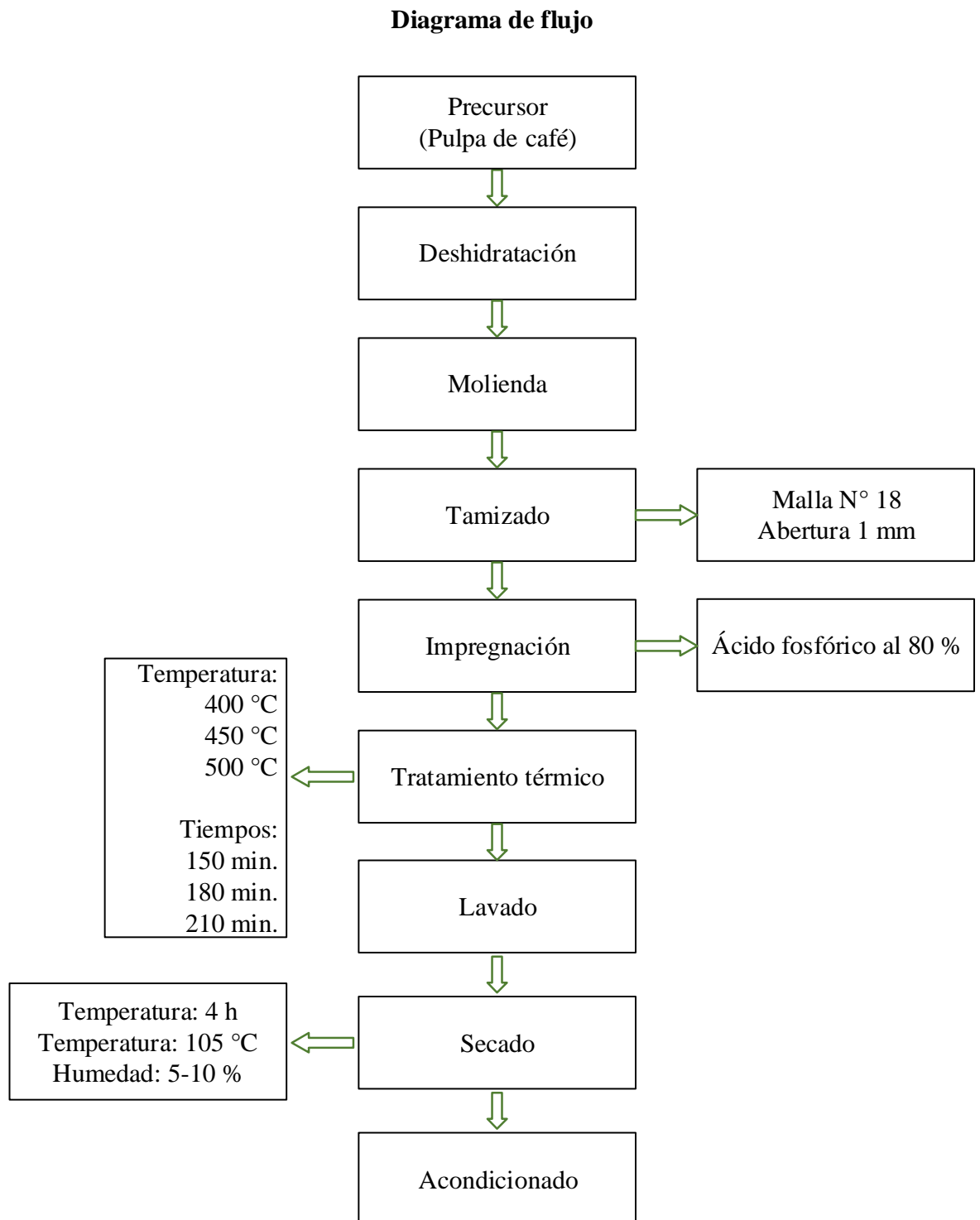


Figura 1. Diagrama de flujo para obtención de carbón activado a partir de la pulpa de la cereza de café mediante activación química

3.3. Procedimiento para la determinación de los parámetros fisicoquímicos.

a. Determinación de la humedad

Se rotularon tres crisoles y se llevaron a secar a 105 °C durante una hora. Luego se dejó enfriar en un desecador, pesándose en cada crisol 1,0 g de la muestra con precisión. Posteriormente se llevaron a estufa a 110 °C durante 2 h; se dejaron enfriar en un desecador y seguidamente fueron pesados, Díaz (2008) y López (2017).

Para calcular el porcentaje de humedad se aplicó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{(\text{peso muestra húmeda} - \text{peso muestra seca})}{\text{peso muestra húmeda}} \times 100$$

b. Determinación de cenizas

Se rotularon 3 crisoles de porcelana, y se pesaron 1,0 g de carbón activado en una balanza analítica, seguidamente se colocó en una mufla a 800 °C durante 2,5 horas, se retiraron de la mufla y se dejaron enfriar en un desecador de vidrio por 30 min, pasado ese tiempo se pesaron, Díaz (2008) y López (2017).

Para calcular el porcentaje de ceniza se aplicó la siguiente formula:

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{\text{peso muestra final}}{\text{peso muestra inicial}} \times 100$$

c. Determinación de potencial de hidrogeno (pH)

Se pesaron 2 g de muestra de carbón activado y se añadieron 20 mL de agua destilada a 80 °C, se agitó durante 5 min, se dejó enfriar para luego determinar el pH empleando un pH-metro de acuerdo a lo sugerido por la Norma ITINTEC 207.028-81, Norma 0-3838-80(1990), Cárdenas (2015)

d. Determinación de la densidad aparente

En una probeta limpia, previamente seca y tarada se colocó la muestra, se pesó para determinar la masa y se midió el volumen. Agudelo (2017),

Este parámetro se calculó, mediante la siguiente formula:

$$\text{Densidad aparente} = \frac{\text{peso de muestra en gramos}}{\text{volumen de muestra (cm}^3\text{)}} * 100$$

e. Determinación de materia volátil

Una vez eliminada la humedad, la muestra se colocó en crisoles cerrados y se introdujo en la mufla, durante 7 min a 950 °C. Luego se retiraron los crisoles, se enfriaron en un desecador de vidrio y se pesaron las muestras, Gonzales (2017), Ekpote y Horsfall (2011) citado en Yampasi (2017).

La materia volátil se determinó mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Materia volátil} = \frac{\text{Peso de componentes volatiles (g)}}{\text{Peso de muestra seca (g)}} * 100$$

f. Determinación de carbón fijo

El porcentaje en masa del carbono fijo se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$C(fi) = 100 - (F + A)$$

F = porcentaje de materias volátiles

A = porcentaje de cenizas

g. Determinación de la capacidad de adsorción

Preparación de la solución patrón

Se pesó 0.01 g de colorante azul de metileno, se disolvió en un poco de agua destilada, se pasó a una fiola de 100 mL y se aforó con agua destilada para obtener una solución de concentración 100 ppm (solución patrón). Luego se

preparó una dilución con 10 mL de azul de metileno patrón a 1000 mL de solución para obtener una concentración de 0.0001 % ($C_i = 1$ ppm)

Para el ensayo de adsorción se pesó 0.5 g del carbón activado y se depositó en un vaso de precipitación de 1000 mL de capacidad; luego se le agregó 1000 mL del azul de metileno de la concentración 1 ppm y se agitó a 500 rpm a temperatura ambiente por un periodo de 1 hora.

La disolución final se filtró y la concentración de azul de metileno residual se determinó mediante espectrofotometría, midiendo la absorbancia a 670 nm.

Previamente se construyó la curva de calibración empleando diluciones de la solución patrón de azul de metileno. Del gráfico de la curva de calibración se obtuvo la ecuación lineal de la forma (Anexo 3):

$$A = mC + n$$

Dónde:

A = absorbancia

C = concentración en mg/L

m, n = parámetros obtenidos del gráfico

La concentración de la muestra se calculó mediante la ecuación:

$$C_f = \frac{A - n}{m}$$

La masa residual fue calculada con la fórmula:

$$masa\ absorbida = (C_i - C_f) * V$$

Dónde:

C_i = concentración inicial en mg/L

C_f = concentración final en mg/L

V = volumen de la disolución de metileno en L.

3.4. Diseño experimental

El diseño experimental completamente al azar con dos factores 3x3 con tres repeticiones. Los tratamientos en estudio son las temperaturas T°_1 , T°_2 y T°_3 interactuando con tres tiempos t_1 , t_2 y t_3 . Total son 162 ensayos.

Tabla 1. *Numero de ensayos en el diseño experimental*

Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Porcentaje cenizas	Densidad aparente	pH	Porcentaje humedad	materia volátil	capacidad de adsorción
400	150	3	3	3	3	3	3
	180	3	3	3	3	3	3
	210	3	3	3	3	3	3
450	150	3	3	3	3	3	3
	180	3	3	3	3	3	3
	210	3	3	3	3	3	3
500	150	3	3	3	3	3	3
	180	3	3	3	3	3	3
	210	3	3	3	3	3	3

3.4.1. Análisis de datos

Luego de obtener los datos de cada parámetro se realizó el análisis de varianza ANVA y las pruebas de significancia de medias, Tukey a un nivel de confianza del 95 % usando el software SPSS versión 25.

IV. RESULTADOS

4.1. Caracterización físico-química del carbón activado obtenido

El carbón activado obtenido tiene las siguientes características fisicoquímicas:

a) Densidad aparente

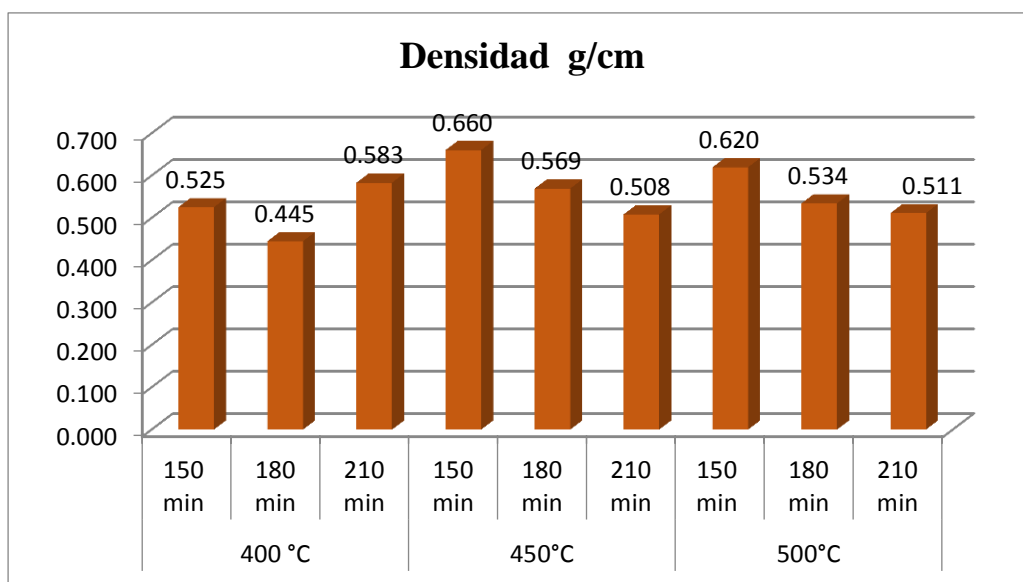


Gráfico 1. Densidad aparente del carbón activado obtenido

El valor mínimo de la densidad aparente es 0,445 g/cc que corresponde al tratamiento con 400 °C de temperatura a un tiempo de 180 min y el valor máximo es 0,6197 g/cc para el tratamiento a 500 °C y 150 min.

Tabla 2. *Análisis de varianza (ANVA) para la densidad aparente*

FV	SC	GL	CM	Fobs.		F tabular	
						0.05	0.01
Tratamientos	0.1008	8					
Factor A (Temperatura)	0.0172	2	0.0086	2.32	NS	3.55	6.01
Factor B (Tiempo)	0.0366	2	0.0183	4.93	*	3.55	6.01
Interacción A x B	0.0470	4	0.0235	6.33	**	2.93	4.58
Error	0.0074	18	0.0037				
Total	0.1083	26	0.05				
% CV = 11.07							

En el análisis de varianza sobre la densidad aparente reporta que para el factor temperatura no hay significancia y para el factor tiempo es significativo, pero cuando interaccionan ambos factores hay una influencia altamente significativa sobre los valores de la densidad aparente. El porcentaje del coeficiente de variabilidad cuyo valor es de 11.07% indica que los datos tomados fueron correctos (no se presentan datos dispersos).

Tabla 3. *Método de Tukey al 95 % de confianza para la densidad aparente*

Tratamientos		Orden de Mérito	Significancia (0.05)
Temperatura	Tiempo		
400	180	0.4450	A
450	210	0.5083	B
500	210	0.5113	B
400	150	0.5253	B
500	180	0.5343	B
450	180	0.5693	B
400	210	0.5833	B
500	150	0.6197	B
450	150	0.6603	B

En el análisis Tukey de los datos para la temperatura y tiempo para la densidad aparente en la tabla 3 se puede apreciar que para el tratamiento de 400 °C a 180 min hay una diferencia significativa en comparación con el resto de tratamientos, siendo este valor elegido, ya que el producto que tiene menor

densidad tendrá mayor porosidad, esta característica mejora la capacidad de adsorción del producto obtenido.

b) Humedad

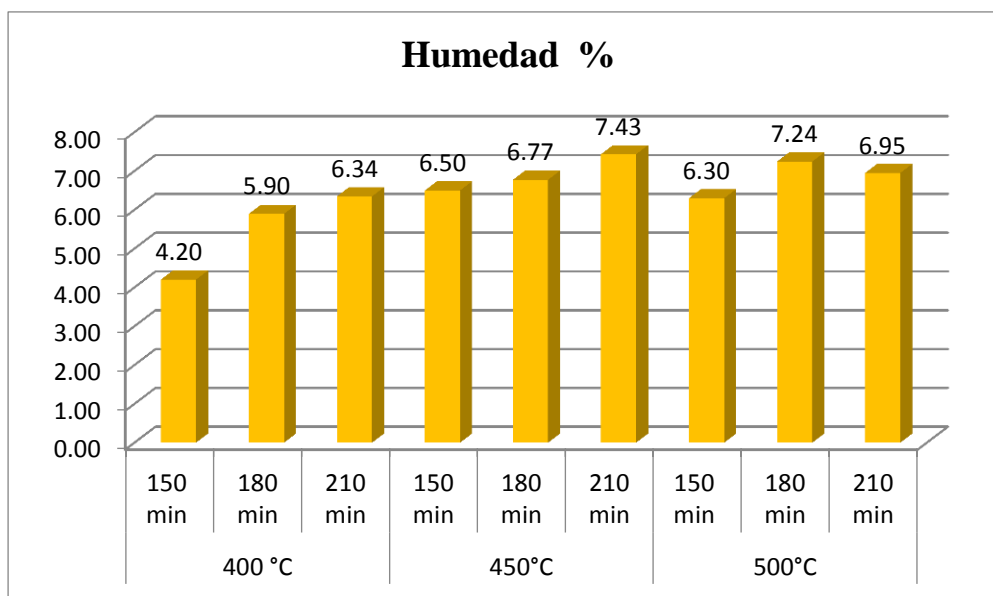


Gráfico 2. Porcentajes de humedad del carbón activado

El valor mínimo alcanzado de la humedad es 4,2013 % que corresponde al tratamiento con 400 °C de temperatura a un tiempo de 150 min y el valor máximo es 7,4309 % para el tratamiento a 450 °C y 210 min.

Tabla 4. Análisis de varianza (ANVA) para la variable humedad

FV	SC	GL	CM	Fobs.	F tabular	
					0.05	0.01
Tratamientos	21.9841	8				
Factor A (Temperatura)	11.5331	2	5.7665	1.00	NS	3.55 6.01
Factor B (Tiempo)	7.6833	2	3.8417	0.67	NS	3.55 6.01
Interacción A x B	2.7677	4	1.3838	0.24	NS	2.93 4.58
Error	11.5003	18	5.7502			
Total	33.4844	26	16.74			

% CV = 37.45

En el análisis de varianza para la humedad reporta que tanto para el factor temperatura y para el tiempo no hay significancia, ni tampoco para la

interacción de ambos factores, esto significa que no hay influencia de ambos factores en el porcentaje de humedad. El coeficiente de variabilidad cuyo valor es 37.45 % indica que hay valores dispersos.

Tabla 5. Método Tukey para la humedad al 95 % de confianza

Tratamientos		Orden de Mérito	Significancia (0.05)
Temperatura	Tiempo		
450	210	7.4309	A
500	180	7.2443	A
500	210	6.9497	A
450	180	6.7723	A
450	150	6.4981	A
400	210	6.3446	A
500	150	6.2982	A
400	180	5.8956	A
400	150	4.2013	A

En el análisis Tukey de los datos para la temperatura y tiempo para la humedad en la tabla 5 se observa que para cada tratamiento no hay diferencia significativa ya que todos los valores se comportan de la misma manera, el valor elegido por prioridad es el 400 °C por 180 min.

c) pH

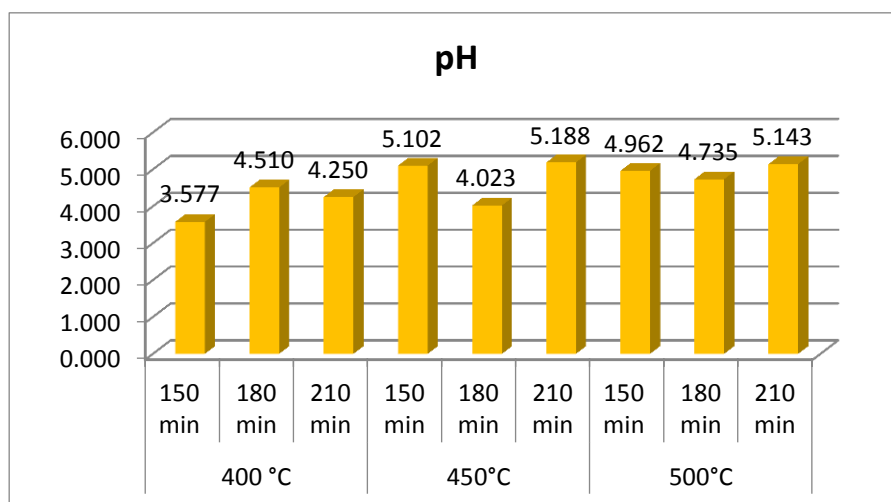


Gráfico 3. Valores de pH a diferentes temperaturas y tiempos del carbón activado

El valor mínimo del pH es 3,577 que corresponde al tratamiento con 400 °C de temperatura a un tiempo de 150 min y el valor máximo es 5,188 para el tratamiento a 450 °C y 210 min.

Tabla 6. *Análisis de varianza (ANVA) para el pH*

FV	SC	GL	CM	Fobs.		F tabular	
						0.05	0.01
Tratamientos	7.6522	8					
Factor A (Temperatura)	3.4818	2	1.7409	0.46	NS	3.55	6.01
Factor B (Tiempo)	0.9172	2	0.4586	0.12	NS	3.55	6.01
Interacción A x B	3.2532	4	1.6266	0.43	NS	2.93	4.58
Error	7.5282	18	3.7641				
Total	15.1804	26	7.59				
% CV = 42.08							

En el análisis estadístico para el pH reporta que tanto para el factor temperatura y para el tiempo no hay significancia, ni tampoco para la interacción de ambos factores.

Tabla 7. *Método Tukey al 95 % de confianza para el pH*

Tratamientos		Orden de Mérito	Significancia (0.05)
Temperatura	Tiempo		
450	210	5.1883	A
500	210	5.1433	A
450	150	5.1017	A
500	150	4.9620	A
500	180	4.7347	A
400	180	4.5100	A
400	210	4.2503	A
450	180	4.0233	A
400	150	3.5770	A

En el análisis Tukey de los datos para la temperatura y tiempo para el pH indica que no hay influencia de la temperatura y el tiempo. Sin embargo, se puede inferir

que los mejores tratamientos corresponden para una temperatura de 400 °C y 180 min.

d) Cenizas.

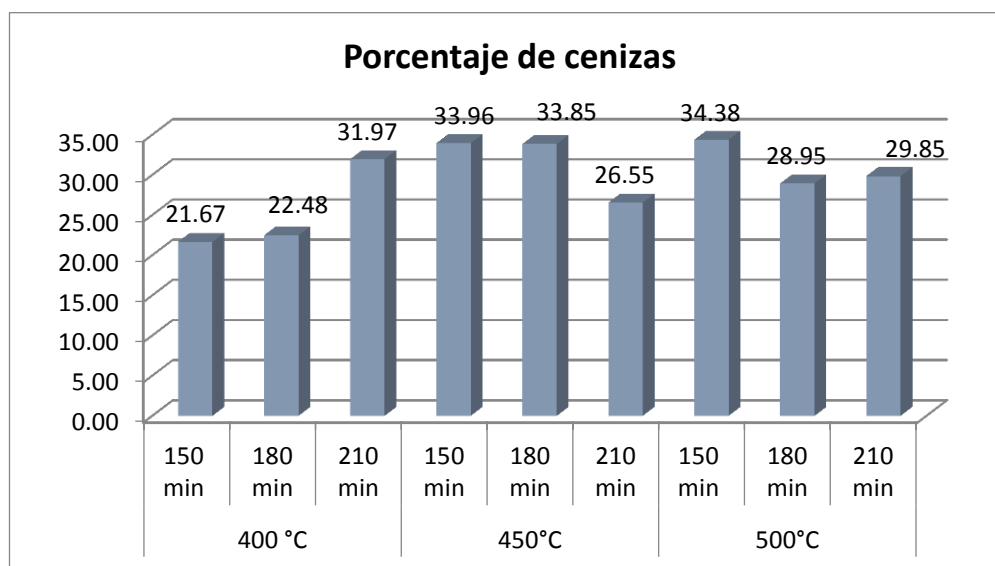


Gráfico 4. Porcentaje de cenizas del carbón activado

El valor mínimo del porcentaje de cenizas es 21.6693 % que corresponde al tratamiento con 400 °C de temperatura a un tiempo de 150 min y el valor máximo es 34.3795 % para el tratamiento a 500 °C y 150 min.

Tabla 8. Análisis de varianza (ANVA) para las cenizas

FV	SC	GL	CM	Fobs.		F tabular	
						0.05	0.01
Tratamientos	563.9959	8					
Factor A (Temperatura)	208.1948	2	104.0974	4.11	*	3.55	6.01
Factor B (Tiempo)	11.5116	2	5.7558	0.23	NS	3.55	6.01
Interacción A x B	344.2895	4	172.1447	6.79	**	2.93	4.58
Error	50.6910	18	25.3455				
Total	614.6870	26	307.34				
% CV = 17.18							

En el análisis estadístico del porcentaje de cenizas reporta que para factor temperatura hay significancia y para el factor tiempo no hay significancia, pero

cuando interaccionan ambos factores hay una influencia altamente significativa. Estos valores indican que el porcentaje de cenizas depende significativamente de la temperatura más no del tiempo.

Tabla 9. Método de Tukey al 95% de confianza para las cenizas

Tratamientos		Orden de Mérito	Significancia (0.05)
Temperatura	Tiempo		
500	150	34.3795	A
450	150	33.9566	A
450	180	33.8512	A
400	210	31.9717	A
500	210	29.8494	A
500	180	28.9462	A
450	210	26.5517	A
400	180	22.4843	A
400	150	21.6693	A

En el análisis Tukey de los datos para la temperatura y tiempo para el porcentaje de cenizas indica que no hay influencia de la temperatura y el tiempo en el contenido de cenizas. Sin embargo, se puede inferir que los mejores tratamientos corresponden para una temperatura de 400 °C y 150 min o 180 min debido que a menor % de cenizas, el carbón tienen menor cantidad de impurezas, esto le confiere mayor cantidad de espacios vacíos o superficie de adsorción.

e) **Materia volátil.**

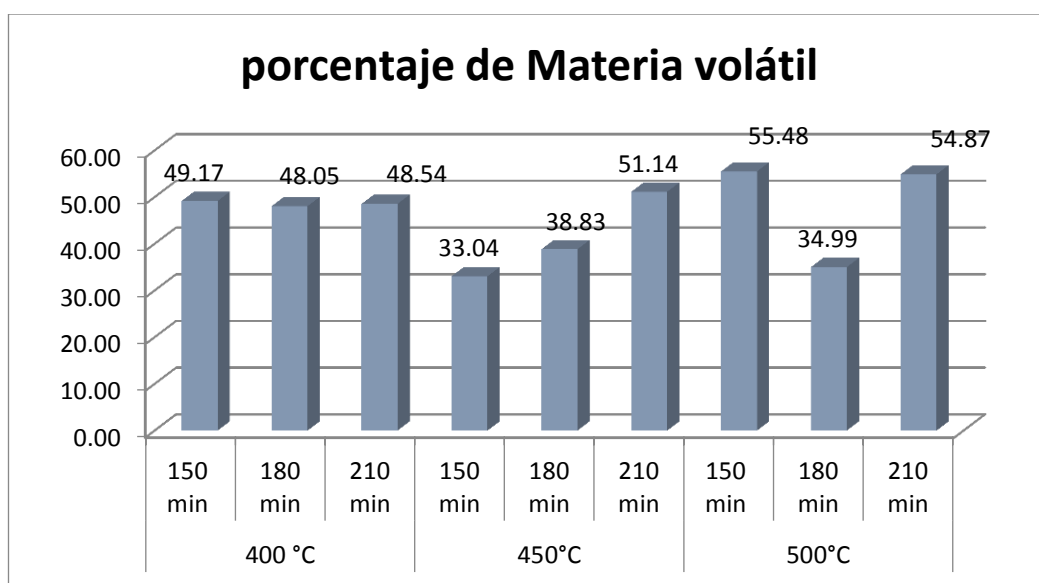


Gráfico 5. Porcentaje de materia volátil del carbón activado

El valor mínimo del porcentaje de materia volátil es 33.0417 % que corresponde al tratamiento con 450 °C de temperatura a un tiempo de 150 min y el valor máximo es 55.4818 % para el tratamiento a 500 °C y 150 min.

Tabla 10. Análisis de varianza (ANVA) para la materia volátil

FV	SC	GL	CM	Fobs.	F tabular	
					0.05	0.01
Tratamientos	1668.7787	8				
Factor A (Temperatura)	338.6651	2	169.3326	18.18 **	3.55	6.01
Factor B (Tiempo)	534.3398	2	267.1699	28.68 **	3.55	6.01
Interacción A x B	795.7738	4	397.8869	42.72 **	2.93	4.58
Error	18.6296	18	9.3148			
Total	1687.4083	26	843.70			

% CV = 6.63

En el análisis estadístico del porcentaje de material volátil reporta que para factor temperatura y tiempo hay una influencia altamente significativa y su interacción

es también altamente significativa, lo que podría indicar que conforme aumenta el tiempo de activación y la temperatura, aumenta el porcentaje de material volátil.

Tabla 11. Método de Tukey al 95 % de confianza para materia volátil

Tratamientos		Orden de Mérito	Significancia (0.05)
Temperatura	Tiempo		
450	150	33.0417	A
500	180	34.9865	A
450	180	38.8291	A
400	180	48.0499	A B
400	210	48.5447	B
400	150	49.1654	B
450	210	51.1404	B
500	210	54.8656	B
500	150	55.4818	B

En el análisis Tukey de los datos para la temperatura y tiempo para el porcentaje de material volátil indica que hay una diferencia significativa entre los tiempos en los tratamientos. Sin embargo, de los resultados obtenidos sugieren que las mejores condiciones de tiempo son de 400 °C a 180 min. Toda vez que se requiere un carbón con menor porcentaje de materia volátil.

f) Capacidad de adsorción

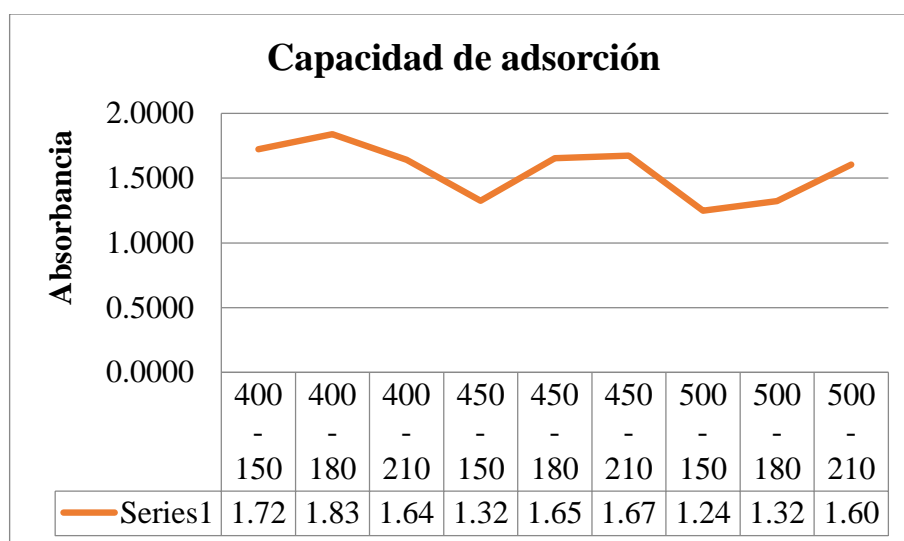


Gráfico 6. Miligramos de azul de metileno adsorbidos por gramo de carbón activado

El valor mínimo de la capacidad de adsorción es de 1.248 mg de colorante azul de metileno por gramo de carbón activado que corresponde al tratamiento con 500 °C de temperatura a un tiempo de 150 min y el valor máximo es 1.838 mg de colorante azul de metileno por gramo de carbón activado para el tratamiento a 400 °C y 180 min.

Tabla 12. Análisis de varianza (ANVA) para la capacidad de adsorción

FV	SC	GL	CM	Fobs.		F tabular	
						0.05	0.01
Tratamientos	1.0300	8					
Factor A (Temperatura)	0.5286	2	0.2643	16.95	**	3.55	6.01
Factor B (Tiempo)	0.2223	2	0.1112	7.13	**	3.55	6.01
Interacción A x B	0.2791	4	0.1396	8.95	**	2.93	4.58
Error	0.0312	18	0.0156				
Total	1.0612	26	0.53				
% CV = 8.01							

En el análisis estadístico de la capacidad de adsorción reporta que para factor temperatura y tiempo, así como para su interacción entre ambos son altamente significativos por lo que influye sobre los valores de la capacidad de adsorción.

Tabla 13. Método Tukey al 95 % de confianza para la capacidad de adsorción

Tratamientos		Orden de Mérito	Significancia (0.05)
Temperatura	Tiempo		
400	180	1.8384	A
400	150	1.7240	A
450	210	1.6750	A
450	180	1.6530	A
400	210	1.6411	A
500	210	1.6044	A
450	150	1.3243	B
500	180	1.3228	B
500	150	1.2490	C

En el análisis Tukey de los datos para la temperatura y tiempo para capacidad de adsorción indica que no hay influencia de la temperatura y el tiempo. Sin embargo, se puede inferir que los mejores tratamientos corresponden para una temperatura de 400 °C y un tiempo de carbonización de 180 min.

V. DISCUSIÓN

Las densidades aparentes de los carbones obtenidos están comprendidos entre 0.4350 g/cc y 0.6680 g/cc, el análisis de varianza y el análisis Tukey indican que la temperatura y tiempo de carbonización no influyen significativamente en la densidad aparente, según Hidalgo y Rivera (2017) este parámetro influye en la capacidad de adsorción dado que a menor densidad se tendrá mayor porosidad, esta característica mejora la capacidad de adsorción del producto obtenido. El carbón activado con menor densidad corresponde al obtenido a 400 °C y 180 min cuya densidad aparente es de 0.4450 g/cm³, resultado que está dentro de los rangos de la ASTM D-2854 (0.26 a 0.65 g/cm³ para el carbón activado granular mencionado por Manrique (2013). Por otra parte los resultados obtenidos coinciden con los reportados por Carrasco y Londa (2018) que es de 0.4976 g/cm³

Los resultados de los análisis para el porcentaje de cenizas reportó valores comprendidos entre 20.9668 % y 35.4393 %, estos valores no se encuentran dentro del rango establecido por la Norma ASTM D-2866 mencionado por Manrique (2013). Sin embargo, Hassler (1973) citado en Pérez y Callupe (1999) menciona que las cenizas son influidas por el método de preparación del carbón, agrega que son derivados de la materia prima y de los agentes activante añadidos durante la activación. Así mismo Lazo (2015) menciona que los carbones de uso general con alto contenido de cenizas son más eficientes en eliminar impurezas que muchos carbones que tienen bajo contenido.

En cuanto al porcentaje de materia volátil, estos se encuentran entre 32.8397 % y 55.9268%, valores relativamente altos que de acuerdo con Agudelo (2017) que sostiene que a medida que se aumenta la temperatura y el tiempo se empieza a liberar materia orgánica volátil que ha quedado dentro de la estructura del carbón activado. Además, se requiere un carbón con menor porcentaje de materia volátil y por lo tanto mayor porcentaje de carbón fijo.

Los porcentajes de humedad están comprendidos entre 2.0823 % y 7.5422 %, estos valores están dentro de la Norma Técnica Peruana (NTP) - 1982 y la NMX-295-1981 mencionado por Sánchez (2017) cuyo valor máximo es 12%. Por otra parte los valores de pH obtenidos oscilan entre 3.507 y 5,986, estos valores están influenciados por el proceso mismo de obtención del carbón activado por lo tanto no van repercutir en la capacidad de adsorción ni dependen de los factores temperatura y tiempo tal como se ha evidenciado en el análisis estadístico.

Según el análisis estadístico de varianza ANVA la densidad aparente, el porcentaje de cenizas y materia volátil dependen significativamente con la temperatura y el tiempo de carbonización por lo tanto van a influir en la capacidad de adsorción del carbón activado, mientras que el porcentaje de humedad y pH no tienen significancia frente a los factores temperatura y tiempo de carbonización.

La capacidad de adsorción de los carbones obtenidos oscila entre los valores de 1,249 mg/g y 1,838 mg/g, siendo el valor máximo para el tratamiento a 400 °C y 180 min. Estos valores contrastan a los obtenidos por Rodríguez (2019) que reporta 300 °C y 150 min que son valores máximos de tiempo y temperatura. Sin embargo, los obtenidos en esta investigación corresponden a la menor temperatura. El análisis estadístico de varianzas ANVA para la capacidad de adsorción indican que los factores temperatura y tiempo son altamente significativos, es decir, que la capacidad de adsorción del carbón activado dependen tanto del tiempo y temperatura de carbonización.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

Para producir carbón activado con la mayor capacidad de adsorción a partir de la pulpa de la cereza de café la temperatura de carbonización es 400 °C y tiempo de 180 minutos.

La mayor capacidad de adsorción del carbón obtenido es de 1,838 mg de colorante azul de metileno por gramo de carbón activado.

Las características fisicoquímicas del carbón activado con mayor capacidad de adsorción fueron: humedad 5,896 %, pH 4,5100, densidad de 0,4450 g/cm³, materia volátil 48,05 %, cenizas 22,48 %, carbón fijo 29,4658 %.

6.2. Recomendaciones

Realizar pruebas para obtener el tiempo y grado de saturación del carbón activado producido.

Realizar investigaciones con otros residuos agrícolas de la región, y determinar sus capacidades de adsorción.

Realizar ensayos con otros de agentes activantes de preferencia de naturaleza física.

A las empresas que generan residuos agrícolas promover investigaciones y la producción de carbón activado que puedan ser utilizados en sus propios procesos industriales como filtros para absorber impurezas del agua, entre otros.

VII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Agudelo, B. (2017). *Estandarización de proceso de producción de carbón activado por activación física a partir de cuesco de palma a escala industrial* (Tesis de pregrado). Fundación Universidad de América, Bogotá d. c.
- Cárdenas, H. (2015). *Evaluación del Carbón Activado Por el Método Químico con Cloruro de Zinc y Ácido Fosfórico a partir del Aserrín de Copaifera reticulata (Copaiba)* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ucayali, Pucallpa, Perú
- Carrasco, B, y Londa, E. (2018). *Obtención de carbón activado a partir de la cáscara de coco “Cocos Nucífera L”* (tesis de pregrado). Universidad de Cuenca, Ecuador.
- Díaz, A. (2008). *Caracterización de los componentes volátiles del aceite esencial de la lima (citrus aurantifolia (Christm.) Swingle)* [Tesis]. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ciencias. Escuela Profesional de Química.
- González, B. (2017). *Desarrollo de carbón activado a partir de desechos agroindustriales con aplicación en adsorción de arsénico* (Tesis de pregrado). Universidad De Chile, Santiago de Chile.
- Hidalgo, C y Rivera, S. (2017). *Obtención de carbón activado a partir del bagazo del café como una propuesta de utilización del residuo de una industria cafetera* (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador.
- Lazo, R. (2015). *Operaciones y procesos para la producción de carbón activado a partir de la cáscara de coco* (Tesis de posgrado). Universidad Nacional del Callao, Perú.

- López, D. (2017). *Evaluación de la capacidad de remoción del colorante reactivo synozol red k3bs utilizando carbón activado obtenido a partir de desechos industriales como adsorbente* (tesis de postgrado). Universidad Católica de Santa María, Arequipa, Perú
- Manrique, R. (2013). *Optimización de la producción de carbón activado a partir de cascarilla de arroz y su uso en la adsorción de cromo (vi)* (tesis de pregrado). Universidad Católica de Santa María, Arequipa, Perú.
- Pérez, M, y Callupe, J. (1999). *Estudio técnico - económico para la instalación de una planta de carbón activado a partir de una mezcla de cascara de arroz y aserrín de madera* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- Rodríguez, J. (2019). *Producción de carbón activado a partir de la testa de la almendra de cacao con ácido fosfórico a 60%* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Jaén, Perú.
- Rojas, J. (2016). *Producción del hongo comestible *pleurotus ostreatus* en pulpa de café*. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Facultad de Ingeniería Química e Industrias Alimentarias, Lambayeque, Perú.
- Sánchez, C. (2018). *Caracterización de carbón activado a partir de bambú “*guadua angustifolia kunth*” utilizando el método químico* (tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima, Perú.
- Yampasi, O. (2017). *Adsorción del carbón activado de tallos y hojas de cañihua (*chenopodium pallidicaule*), para la recuperación del oro en la minera colibrí s.a.c.* (tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú

DEDICATORIA

A Dios por bendecirme cada día, por darme la fortaleza y perseverancia para poder culminar con éxitos mis estudios universitarios.

A mis padres María Hilda Benavides Fernández y Tomás Guevara Vásquez, quienes son todo para mí, y me han apoyado incondicionalmente a lo largo de este camino universitario para lograr el objetivo de ser profesional.

A mis hermanos, por alentarme a continuar mi carrera universitaria y a no desfallecer ante cualquier obstáculo.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis asesores M. Cs. Adán Díaz Ruiz y Dr. Honorato Ccalli Pacco por sus orientaciones y apoyo para poder concluir exitosamente este proyecto de investigación.

A la Universidad Nacional de Jaén y la escuela de Ingeniería de Industrias Alimentarias por ofrecerme la oportunidad de una formación integral en el ámbito profesional.

A mis maestros por sus enseñanzas y conocimientos por ser mis mejores guías durante toda la vida universitaria.

ANEXOS

Anexo I. Características fisicoquímicas de la materia prima

Los análisis realizados en la materia prima seca fueron:

a) Humedad

Tabla 14. Determinación de la humedad de la materia prima

Repetición N°	Peso Capsula (g)	Peso Cap. + muestra (g)	Peso Cap. + muestra seca (g)	Peso Muestra Inicial (g)	Peso muestra final (g)	Humedad (%)
R1	58.2521	59.41	59.3712	1.1579	1.1191	3.3509
R2	50.9508	52.23	52.1836	1.2792	1.2328	3.6273
R3	57.7687	58.8	58.7624	1.0313	0.9937	3.6459
Promedio						3.5414

El promedio del porcentaje de humedad de la materia prima seca y molida fue de 3,5414 %.

b) Cenizas

Tabla 15. Determinación del porcentaje de cenizas

Muestra N°	Peso Capsula (g)	Peso de Muestra (g)	peso cap + muestra (g)	Peso cap. + cenizas (g)	Peso Cenizas (g)	% cenizas
R1	32.8813	1.0146	33.8959	32.9128	0.0315	3.1047
R2	32.3321	1.0823	33.4144	32.3714	0.0393	3.6312
R3	30.2518	1.0452	31.297	30.2921	0.0403	3.8557
Promedio						3.5305

El promedio del porcentaje de cenizas de la materia prima seca y molida fue de 3,5305 %.

c) Materia volátil.

Tabla 16. *Determinación de materia volátil del material precursor*

Repetición N°	Peso Capsula (g)	Peso cap. + muestra (g)	Peso de muestra	Peso cap. + muestra Final (g)	Peso final Muestra (g)	Peso Materia Volátil (g)	% materia volátil
R1	57.7313	58.8966	1.1374	57.7817	0.0504	1.087	92.2179
R2	56.4628	57.5968	1.3721	56.5234	0.0606	1.3115	91.9561
R3	57.1367	58.2634	1.1637	57.1942	0.0575	1.1062	91.413
Promedio							91.8623

El promedio de materia volátil del precursor seco y molido fue de 91.8623 %, este valor indica que se tiene materia orgánica fácilmente carbonizable pero con poco porcentaje de lignina.

Anexo 2. Parámetros fisicoquímicos del carbón activado obtenido

Tabla 17. Determinación de la densidad aparente del carbón activado producido

Parámetro	Temperatura:	400 °C			450 °C			500 °C		
	Tiempo:	150	180	210	150	180	210	150	180	210
Densidad Aparente	R1	0.5140	0.4350	0.5810	0.6670	0.5680	0.4930	0.5950	0.5040	0.4890
	R2	0.5370	0.4430	0.5830	0.6580	0.5560	0.5290	0.6680	0.5480	0.5150
	R3	0.5250	0.4570	0.5860	0.6560	0.5840	0.5030	0.5960	0.5510	0.5300
	Promedio	0.5253	0.4450	0.5833	0.6603	0.5693	0.5083	0.6197	0.5343	0.5113

Tabla 18. Determinación del porcentaje de humedad del carbón activado

Parámetro	Temperatura:	400 °C			450 °C			500 °C		
	Tiempo:	150	180	210	150	180	210	150	180	210
Humedad	R1	5.6196	5.035	5.7692	6.3722	6.8744	7.4874	5.3842	7.1942	7.1447
	R2	4.9020	5.743	6.7340	6.4722	6.7598	7.2632	6.4356	7.1078	6.3374
	R3	2.0823	6.908	6.5304	6.6500	6.6827	7.5422	7.0748	7.4308	7.3670
	Promedio	4.2013	5.896	6.3446	6.4981	6.7723	7.4309	6.2982	7.2443	6.9497

Tabla 19. Determinación de pH del carbón activado producido

Parámetro	Temperatura	400 °C			450 °C			500 °C		
	Tiempo	150	180	210	150	180	210	150	180	210
pH	R1	3.6100	4.3080	4.1340	4.0050	3.0940	4.7660	3.9540	3.6680	4.6330
	R2	3.6140	4.4500	4.3000	5.3140	4.4160	5.3180	5.2950	5.0920	5.2780
	R3	3.5070	4.7720	4.3170	5.9860	4.5600	5.4810	5.6370	5.4440	5.5190
	Promedio	3.5770	4.5100	4.2503	5.1017	4.0233	5.1883	4.9620	4.7347	5.1433

Tabla 20. Determinación del porcentaje de cenizas del carbón activado

Parámetro	Temperatura	400 °C			450 °C			500 °C		
	Tiempo	150	180	210	150	180	210	150	180	210
Cenizas	R1	20.967	22.77	30.384	32.234	33.896	29.912	35.439	26	29.207
	R2	22.148	21.14	33.58	34.543	33.396	24.441	32.807	31.22	29.572
	R3	21.893	23.55	31.951	35.093	34.262	25.303	34.892	29.619	30.769
	Promedio	21.669	22.48	31.972	33.957	33.851	26.552	34.38	28.946	29.849

Tabla 21. Determinación del porcentaje de materia volátil del carbón activado

Parámetro	Temperatura	400 °C			450 °C			500 °C		
	Tiempo, min	150	180	210	150	180	210	150	180	210
Material Volátil	R1	49.282	49.93	47.63	32.84	39.701	51.082	55.652	35.346	55.643
	R2	50.287	48.54	48.896	33.346	38.798	51.976	54.866	34.68	53.965
	R3	47.927	45.68	49.108	32.94	37.988	50.363	55.927	34.933	54.988
	Promedio	49.165	48.05	48.545	33.042	38.829	51.14	55.482	34.987	54.866

Tabla 22. Determinación de la capacidad adsorbancia del carbón activado

Parámetro	Temperatura	400 °C			450 °C			500 °C		
	Tiempo (min)	150	180	210	150	180	210	150	180	210
Capacidad de adsorción	R1	1.7329	1.8147	1.6305	1.3849	1.6305	1.6510	1.2825	1.3541	1.5691
	R2	1.6989	1.8890	1.6780	1.2568	1.6870	1.7120	1.1987	1.3558	1.6220
	R3	1.7401	1.8114	1.6148	1.3312	1.6414	1.6621	1.2658	1.2584	1.6220
	Promedio	1.7240	1.8384	1.6411	1.3243	1.6530	1.6750	1.2490	1.3228	1.6044

Tabla 23. Resumen de promedios de parámetros fisicoquímicos

TEMPERATURA, °C		400			450			500		
TIEMPO, min		150	180	210	150	180	210	150	180	210
parámetros Fisicoquímicos	Densidad aparente, g/cm ³	0.525	0.445	0.583	0.660	0.569	0.508	0.619	0.534	0.511
	pH	3.577	4.510	4.250	5.101	4.023	5.188	4.962	4.734	5.143
	Humedad, %	4.201	5.895	6.344	6.498	6.772	7.430	6.298	7.244	6.949
	Cenizas, %	21.669	22.484	31.971	33.956	33.851	26.551	34.379	28.946	29.849
	Materia volátil, %	49.165	48.049	48.544	33.041	38.829	51.140	55.481	34.986	54.865
	Carbón fijo, %	29.165	29.465	19.483	33.001	27.319	22.307	10.138	36.067	15.285
	Adsorción, mg/g	1.724	1.838	1.641	1.324	1.653	1.675	1.249	1.322	1.604

Anexo 3. Curva de calibración para la determinación de la concentración residual de azul de metileno

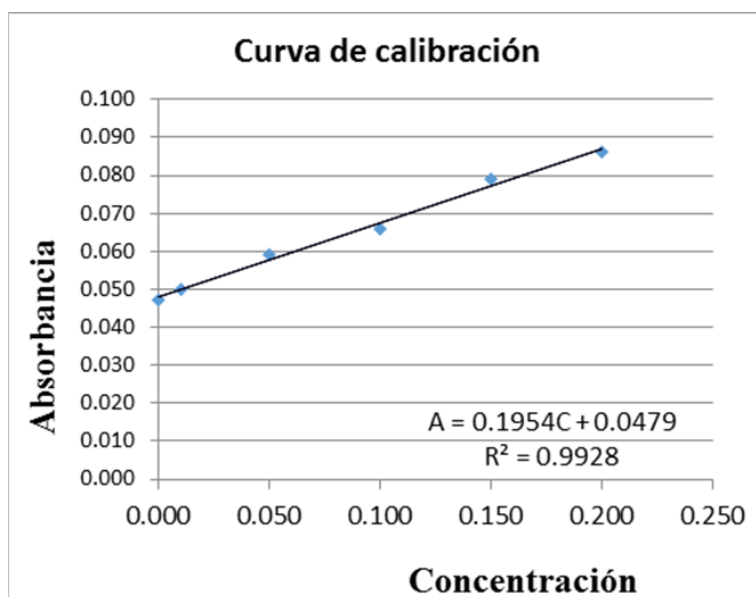


Gráfico 7. Recta y ecuación de la recta para determinar los mg de colorante residual por g de carbón activado.

Anexo 4. Procedimiento de obtención del carbón activado



Figura 2. Pulpa de café



Figura 3. Secado



Figura 4. Tamizado



Figura 5. Impregnación con ácido fosfórico



Figura 6. Reposo



Figura 7. Agitación manual del material impregnado



Figura 8. Secado del material impregnado



Figura 9. Carbonización



Figura 10. Pesado del carbón obtenido



Figura 11. Lavado del carbón activado

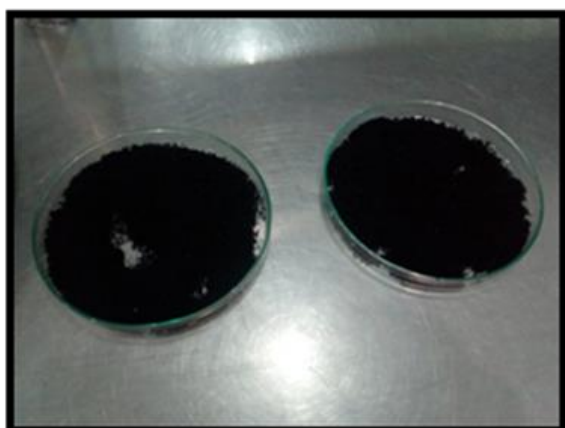


Figura 12. Secado



Figura 13. Ajuste de pH

Anexo 5. Procedimiento para determinación de la capacidad de adsorción



Figura 14. Muestra patrón de colorante de azul de metileno a 100 ppm



Figura 15. Solución diluida al 1 ppm



Figura 16. Adsorción mediante agitación magnética

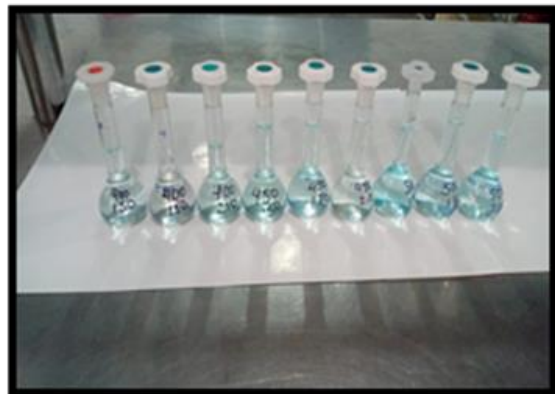


Figura 17. Muestra de azul de metileno por cada tratamiento después de la adsorción



Figura 18. Muestra para la curva de calibración



Figura 19. Determinación espectrofotométrica de la concentración del colorante residual